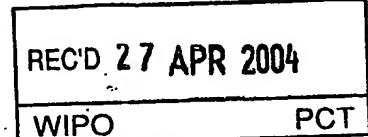


00047

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



06.04.2004



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 16 094.9
Anmeldetag: 08. April 2003
Anmelder/Inhaber: EUROCOPTER DEUTSCHLAND GmbH,
86609 Donauwörth/DE
Bezeichnung: Gelenkloser Rotor sowie Drehflügelflugzeug mit
einem solchen Rotor
IPC: B 64 C 27/48

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 11. März 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident

Im Auftrag

Wallner

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b) ~

Gelenkloser Rotor

5

sowie Drehflügelflugzeug mit einem solchen Rotor

TECHNISCHES GEBIET

10 Die vorliegende Erfindung betrifft einen gelenklosen Rotor sowie ein Drehflügelflugzeug mit einem solchen Rotor.

STAND DER TECHNIK

15 Auftriebserzeugende Rotorblätter eines gelenklosen Rotors für ein Drehflügelflugzeug werden überwiegend aus Faserverbundwerkstoff hergestellt. Die Rotorblätter werden im laufenden Rotorbetrieb in verschiedenen Richtungen ausgelenkt und dadurch stark belastet. Das Rotorblatt besitzt an seinem zu einem Rotorkopf hin weisenden Ende zumeist ein Strukturelement mit einem schlag- und schwenkweichen Bereich, das Bewegungen des Rotorblattes in einer Schlag- und Schwenkrichtung zulässt. Das Strukturelement wird auch als Flexbeam bezeichnet.
20 Der schlag- und/oder schwenkweiche Bereich des Strukturelements wird zusammenfassend als biegeweicher Bereich bezeichnet. In Richtung der Rotorblattlängsachse hat das Strukturelement an seinem zum Rotorkopf weisenden Ende üblicherweise einen Blattanschluss ausgebildet, der eine Verbindung zum Rotorkopf oder einer Rotorkopfplatte ermöglicht.
25

Der Übergang vom Blattanschluss in den biegeweichen Bereich ist zu einem Rotorblathals ausgebildet. Das Strukturelement überträgt einerseits das Antriebsdrehmoment vom Rotorkopf auf das Rotorblatt und anderseits die im Rotorbetrieb auf das Rotorblatt wirkenden Fliehkräfte auf den Rotorkopf. Damit das Strukturelement separat gefertigt bzw. bei Beschädigung leichter ausgetauscht

werden kann, wird oft eine Trennstelle zwischen dem Strukturelement und dem Rotorblatt eingebaut. Der auftriebserzeugende Rotorblattbereich erstreckt sich von dieser Trennstelle bis zum äußersten Ende des Rotorblattes, d.h. bis zur Rotorblattspitze hin.

5

Der Blatthals des Strukturelements besitzt in der Regel den schlagweichen Bereich, der eine fiktive, horizontal orientierte Achse (auch fiktives oder virtuelles Schlaggelenk genannt) bildet, um welche das Rotorblatt Schlagbewegungen ausführt. Der Abstand zwischen dem fiktiven Schlaggelenk bis zur Rotorachse wird als Schlaggelenksabstand bezeichnet. Bei konventionellen gelenklosen Rotoren ist der sog. fiktive oder virtuelle Schlaggelenksabstand relativ groß und beträgt ca. 8 bis 12 % der Länge des Rotorkreisradius, gemessen von der Rotorachse in radialer Richtung nach außen zur Blattspitze hin.

10

Ein großer Schlaggelenksabstand eines gelenklosen Rotors führt im Betrieb zwar einerseits zu einer hohen Steuerfolgsamkeit und Wendigkeit des Hubschraubers, andererseits aber insbesondere zu einer hohen Schlageigenfrequenz. Diese relativ hohe Schlageigenfrequenz und die daraus resultierenden Vibrationen beim lagerlosen Rotor sind nachteilig für die Flugeigenschaften des Hubschraubers und führen zu hohen Belastungen des Blattanschlusses und des Blatthalses. Blattanschluss und Blatthals müssen deshalb entsprechend stark dimensioniert sein, um der den auftretenden Beanspruchung zu widerstehen. Bei herkömmlichen Hubschrauberrotoren wird aus diesen Gründen eine niedrige Schlag- und Schwenkeigenfrequenz angestrebt.

20

25 Infolge der hohen Belastungen des Rotorblattes und Blattanschlusses beim lagerlosen Rotor und der diesbezüglich zu gewährleistenden Festigkeit dieser Komponenten ist es äußerst schwierig, den Schlaggelenkabstand zu reduzieren bzw. unter ein bestimmten Wert zu bringen. Ein geringer Schlaggelenkabstand würde bei konventionellen lagerlosen Rotoren die Haltbarkeit und Lebensdauer des jeweiligen Rotorblattes erheblich reduzieren, was nachteilig oder sogar gefährlich ist. Anderseits wäre für diverse Einsatzzwecke ein niedriger Schlaggelenksabstand

jedoch erstrebenswert, da Hubschrauber mit einem derartigen Rotor von Piloten, Besatzung und Fluggästen allgemein als komfortabler empfunden werden.

Ein großer Schlaggelenkabstand kann auch aus aerodynamischer Sicht nachteilig

5 sein, da der Gesamtluftwiderstand der von der Rotorachse bis zum fiktiven Schlaggelenk reichenden Rotorelemente, insbesondere des o.g. Strukturelementes, recht hoch ist und darüber hinaus dieser Bereich, der einen relativ großen Anteil des Rotorradius einnimmt, nicht für einen aerodynamisch wirksamen Bereich des Rotorblattes genutzt werden kann.

10

Aus der DE 19837802 C1 ist ein gelenkloser Rotor für ein Drehflügelflugzeug bekannt, umfassend einen Rotorkopf, einen Rotormast mit einer Rotorachse, ein drehfest mit dem Rotormast verbundenes Drehmomentenübertragungselement, mindestens ein Auftrieb erzeugendes Rotorblatt sowie einen rotorkopfseitigen 15 Rotorblattanschluss. Bei Rotoren der zuvor genannten Art umfasst der rotorkopfseitige Rotorblattanschluss neben dem weiter oben bereits beschriebenen Strukturelement in der Regel mindestens zwei Bolzen, die im Wesentlichen radial zur Rotationsachse des Rotors bzw. des Rotorblattes angeordnet sind. Über diese Bolzen wird das Schlagmoment und das Schwenkmoment abgesetzt. Das 20 Strukturelement kann hierbei durch obere und untere Auflageflächen auf der Rotorkopfplatte abgestützt sein. Auch bei dieser Konstruktion existieren die zuvor erläuterten Nachteile.

Bei herkömmlichen gelenklosen Rotoren für konventionelle Hubschrauber wird eine 25 niedrige Schlag- und Schwenkeigenfrequenz angestrebt, was durch schlag- und schwenkweiche Rotorblattanbindungen realisiert wird. Bei speziellen Rotoren, wie z.B. Kipprotoren (auch Tilt-Rotoren genannt) von Kipprotorhubschraubern bzw. -flugzeugen, ist aus folgenden Gründen jedoch eine andere Auslegung anzustreben: Wird der Rotor so konzipiert, dass die Schwenkeigenfrequenz des Rotors unter der 30 sog. Anregungsfrequenz liegt, so entsteht ein erhöhtes Anregungspotential für Boden- und Luftresonanzen. Diese Resonanzerscheinungen werden bei herkömmlichen Rotoren durch Dämpfer kontrolliert. Die im Gegensatz zu einer

steifen Zelle eines konventionellen Hubschraubers weiche Aufhängung der Kipprotoren am Flügel eines Kipprotorhubschraubers hingegen verursacht unerwünschte Kopplungen zwischen der Flügeleigenfrequenz und der Schwenkfrequenz, wenn eine Auslegung unter der Anregungsfrequenz erfolgt.

5 Diese Gründe führen dazu, dass bei Kipprotoren ein schwenksteifer Rotor gefordert wird. Konventionelle gelenklose Rotoren sind für Kipprotoranwendungen daher nicht geeignet und würden zu Festigkeits- und Sicherheitsproblemen führen.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

10 Der Erfindung liegt die Aufgabe beziehungsweise das technische Problem zugrunde, einen neuartigen gelenklosen Rotor zu schaffen, der über verbesserte aerodynamische und mechanische Eigenschaften sowie einen möglichst geringen fiktiven bzw. virtuellen Schlaggelenkabstand verfügt. Der Rotor soll hierbei in 15 mindestens einer Ausführungsform auch als Kipprotor geeignet sein. Ferner soll ein Drehflügelflugzeug mit einem solchen Rotor bereitgestellt werden.

Die zuvor genannte Aufgabe wird gemäß einem ersten Aspekt gelöst durch einen erfindungsgemäßen Rotor mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

20 Dieser gelenklose Rotor, insbesondere für ein Drehflügelflugzeug, umfasst einen Rotorkopf, einen Rotormast mit einer Rotorachse, ein drehfest mit dem Rotormast verbundenes Drehmomentenübertragungselement (z.B. einen Rotorkopfstern, eine Rotorkopfplatte, oder dergleichen), mindestens ein Rotorblatt (vorzugsweise jedoch 25 mehr als zwei Rotorblätter) und einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss mit einer fliehkräfteabtragenden Blattanschlusschlaufe, welche Rotorachse A bzw. den Rotormast umschlingt und mit dem Drehmomentenübertragungselement drehfest verbunden ist.

30 Bei der erfindungsgemäßen Lösung ist der Blattanschluss also um die Rotorachse bzw. den Rotormast herum geführt. Eine Umschlingung nur der Rotorachse kann beispielsweise dann vorliegen, wenn der Rotormast selbst in axialer Richtung

unterhalb der Blattanschlusschläufen endet und nicht direkt durch die Schläufen hindurchgeführt, was bei bestimmten Rotormastanbindungen der Fall sein kann. Zwischen der Blattanschlusschlaufe und dem Rotormast besteht vorzugsweise keine direkte Verbindung bzw. kein direkter Kontakt. D.h., die

5 Blattanschlusschlaufe umschlingt den Rotormast vorzugsweise anbindungsfrei, wie nachfolgend noch im Detail erläutert werden wird. Zur Lastabtragung der Rotorblatt-Fliehkräfte ist die Blattanschlusschlaufe entweder mit dem Drehmomentenübertragungselement (bzw. einer Komponente davon) und/oder direkt oder indirekt (z.B. über ein Zwischenelement) mit der Blattanschlusschlaufe von mindesten einem weiteren Rotorblatt verbunden. Die Blattanschlusschlaufe geht an ihrer der Rotorblattspitze zugewandten Seite zweckmäßiger Weise in einen Schlaufenfußbereich oder einen Rotorblattthals über bzw. besitzt eine Trennstelle 10 zur lösbar Anbindung an einen Rotorblattthals.

15 Der erfindungsgemäße gelenklose Rotor verfügt über verbesserte aerodynamische und mechanische Eigenschaften sowie einen sehr geringen fiktiven bzw. virtuellen Schlaggelenkabstand. Mittels der Blattanschlusschlaufe des erfindungsgemäßen Rotors sind auch bei einem mehrblättrigen Rotor identische Rotorblattanschlüsse bereitstellbar. Über die Blattanschlusschlaufe ist ein jeweiliges Rotorblatt sehr 20 biegeweich bzw. mit einer größeren Anschlussweichheit und mit einem kleinen, d.h. gegenüber konventionellen gelenklosen Rotoren erheblich verringerten fiktiven Schlaggelenksabstand, am Rotorkopf zu befestigen.

25 Da die Blattanschlusschlaufe in der Regel keine direkte Anbindung zum Rotormast besitzt, also gegenüber dem Rotormast frei beweglich ist, und baulich sehr flach und aerodynamisch günstig ausführbar ist, kann sich die Schlaufe bis zur Rotorachse - oder sogar über die Rotorachse hinweg - in Schlagrichtung nahezu ungehindert elastisch verbiegen. Der daraus resultierende fiktive Schlaggelenkabstand kann deshalb bis zu 0% betragen. Dadurch ist ohne diskrete 30 Bauteile und nur durch die Elastizität bzw. Biegsamkeit der Blattanschlusschlaufe und/oder angrenzender Rotorblattbereiche z.B. ein sog. Gimbalrotor realisierbar. Ein Rotor mit einem geringen Schlaggelenkabstand wird von Passagieren eines

Drehflügelflugzeugs vom Flugverhalten her als angenehm empfunden. Zudem gestattet die erfindungsgemäße Ausgestaltungsweise eine Reduzierung der am Rotor auftretenden Vibrationen und eine Verbesserung des Flugverhaltens bzw. der Flugeigenschaften.

5

Die Blattanschlusschlaufe bzw. ihr Schlaufenfußbereich kann überdies ein fiktives Schwenkgelenk ausbilden und zudem bei Bedarf sehr verdrehweich ausgestaltet werden, so dass sich auf einfache Art und Weise eine lagerlose Blattwinkelverstellung realisieren lässt. Die Blattanschlusschlaufe bzw. Teilbereiche davon können also zusätzlich die Funktion eines sehr kurzen und kompakten Drillelementes zur Blattwinkelverstellung übernehmen. Zumindest Teilbereiche der Blattanschlusschlaufe und/oder angrenzender Rotorblattbereiche können hierbei z.B. durch eine sog. Steuertüte verkleidet sein.

10
15 Darüber hinaus ist die zur Ausbildung des virtuellen Schlaggelenks erforderliche Teillänge des zur Verfügung stehenden Rotorkreisradius gegenüber konventionellen gelenk- bzw. lagerlosen Rotoren sehr gering. Die so eingesparten Abschnitte des Rotorkreisradius stehen ergo für aerodynamisch wirksame Profilbereiche eines Rotorblattes zur Verfügung. Der Luftwiderstand wird somit reduziert und der Auftrieb erhöht. In Verbindung mit der per se sehr dünn bzw. flach ausführbaren Bauweise der Rotorblattanschlusschlaufe wird folglich die aerodynamische Güte des Rotors verbessert. Der erfindungsgemäße Rotor kann grundsätzlich sowohl mit einer hohen als auch geringen Schwenksteifigkeit ausgestaltet werden, wobei die Schlag- und Schwenksteifigkeit nahezu unabhängig voneinander konstruktiv voreinstellbar ist. Die breite Schlaufenform des Blattanschlusses bzw. des Schlaufenfußbereichs sowie weitere in diesem Zusammenhang mögliche bauliche Maßnahmen, die nachstehend im Detail erläutert werden, ermöglichen jedoch insbesondere die einfache Ausführung einer schwenksteifen Anbindung der Rotorblätter an den Rotorkopf.

20
25
30

Dies ist in Verbindung mit dem erzielbaren geringen Schlaggelenkabstand von bis zu 0% für spezielle Anwendungsfälle, wie zum Beispiel bei einem Kipprotor für

einen Kipprotorhubschrauber oder ein Kipprotorflugzeug, von großem Vorteil. Denn auf diese Weise lassen sich die ansonsten beim Kippen des Kipprotors in Verbindung mit einer Schlagbewegung des Rotorblattes entstehenden Schwenkverformungen aus Corioliskräften vermeiden. Somit ist eine den 5 auftretenden Belastungen vorteilhaft angepasste Bauweise und eine hohe Festigkeit des Rotors bei gleichzeitig geringem Gewicht erreichbar. Bei einer schwenksteifen Konstruktion eines Rotors mit großem Schlaggelenkabstand und folglich ungeminderter Corioliskraft hingegen kann es u.U. unmöglich werden, eine hinreichende Stabilität des Kipprotors zu gewährleisten.

10

Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Schlaufenprinzips ist es des Weiteren möglich, den Rotormast sowie ggf. weitere Zusatzelemente der Blattanschlusschlaufe fliehkraftfrei, d.h. von dem im laufenden Rotorbetrieb auf die Rotorblätter wirkenden sehr hohen Fliehkräften unbelastet, zu halten. Dies wird nachfolgend noch 15 ausführlich beschrieben werden. Diese vorteilhafte Wirkung ist insbesondere bei mehrblättrigen Rotoren sehr einfach zu erzielen. Je nach Ausgestaltungsweise des Rotors können sich die Fliehkräfte von jeweils gegenüberliegenden Rotorblättern sogar gegenseitig aufheben. Die Fliehkraft wird hierbei sehr günstig über den relativ großen Schlaufendurchmesser, der mindestens dem Durchmesser des 20 Rotormastes entspricht, in der Regel aber größer sein sollte, abgesetzt.

Weitere bevorzugte und vorteilhafte Ausgestaltungsmerkmale des erfindungsgemäßen Rotors sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 18. 25 Die oben genannte Aufgabe wird gemäß einem zweiten Aspekt gelöst durch ein erfindungsgemäßes Drehflügelflugzeug mit den Merkmalen des Anspruchs 19. Mit dem erfindungsgemäßen Drehflügelflugzeug sind im Wesentlichen die gleichen Vorteile zu erzielen, wie sie bereits weiter oben im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Rotor erläutert wurden.

30

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung mit zusätzlichen Ausgestaltungsdetails und weiteren Vorteilen sind nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher beschrieben und erläutert.

5 KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische, stark vereinfachte perspektivische Darstellung eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer ersten Ausführungsform;

Fig. 2 eine schematische, stark vereinfachte perspektivische Darstellung eines einzelnen Rotorblattanschlusses des Rotors von Fig. 1;

Fig. 3 eine schematische Seitenansicht des Rotors von Fig. 1 in Blickrichtung der Pfeile III-III in Fig. 1; und

Fig. 4 eine schematische, stark vereinfachte perspektivische Darstellung eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer zweiten Ausführungsform.

DARSTELLUNG VON BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSBEISPIELEN

25 In der nachfolgenden Beschreibung und in den Figuren werden zur Vermeidung von Wiederholungen gleiche Bauteile und Komponenten auch mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet, sofern keine weitere Differenzierung erforderlich ist.

30 Fig. 1 zeigt eine schematische, stark vereinfachte perspektivische Darstellung eines erfindungsgemäßen gelenklosen Rotors gemäß einer ersten Ausführungsform. In der Fig. 2 ist eine schematische, stark vereinfachte perspektivische Darstellung

eines einzelnen Rotorblattanschlusses des Rotors von Fig. 1 veranschaulicht. Der erfindungsgemäße gelenklose Rotor, der hier gleichzeitig als lagerloser Rotor ausgestaltet ist, umfasst einen Rotorkopf 2, einen Rotormast 4 mit einer Rotorachse A und ein drehfest mit dem Rotormast 4 verbundenes Drehmomenten-
5 übertragungselement 6, welches in diesem Beispiel als ein kreuzförmiger Rotorkopfstern 6 mit vier Armen 6a ausgestaltet ist. Ferner ist der Rotor mit vier gleichartigen Rotorblättern 8 ausgestattet, von denen jedes einem jeweiligen Arm 6a zugeordnet ist.

10 Für jedes Rotorblatt 8 umfasst der Rotor einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss mit einer fliehkraftabtragenden Blattanschlusssschlaufe 10, welche den Rotormast 4 anbindungsfrei umschlingt und mit dem Rotorkopfstern 6 drehfest verbunden ist. Die Blattanschlusssschlaufe 10 ist im Wesentlichen aus Faserverbundwerkstoff gefertigt und bildet ein Strukturelement mit einem schlag-, schwenk- und torsionsweichen
15 Bereich. Wie in den Fig. 1 und 2 erkennbar, erstreckt sich die Blattanschlusssschlaufe 10 in Längsrichtung L des zugehörigen Rotorblattes 8 und ist in diesem Ausführungsbeispiel integraler Bestandteil des Rotorblattes 8. Grundsätzlich kann die Blattanschlusssschlaufe 10 jedoch auch als ein vom Rotorblatt 8 separates Bauteil ausgestaltet sein und zum Beispiel über eine
20 Trennstelle lösbar mit dem Rotorblatt 8 verbunden werden. Wie in den Zeichnungen erkennbar, ist die Blattanschlusssschlaufe 10 länglich ausgebildet. Die Schlaufenöffnung liegt in einer zur Rotorachse A im Wesentlichen parallelen Richtung. Die Blattanschlusssschlaufe 10 ist in diesem Fall in sich geschlossen ausgebildet und geht an ihrer einer Rotorblattspitze (nicht gezeigt) zugewandten
25 Seite in einen Schlaufenfußbereich 10a über, der an einen Rotorblathals angrenzt. An diesem Schlaufenfußbereich 10a laufen die beiden Schlaufenarme 10b, 10c des Schlaufenstrangs allmählich zusammen.

Grundsätzlich kann die Blattanschlusssschlaufe 10 jedoch auch offen ausgebildet
30 sein und über mindestens ein Schlaufenschließelement zum Verschließen der offenen Blattanschlusssschlaufe 10 verfügen. Zum Beispiel ist es denkbar, dass die jeweilige Blattanschlusssschlaufe 10 an ihrem Schlaufenfußbereich 10a aufgeschlitzt

ist, so dass bei einem mehrblättrigen Rotor die Schlaufen 10 durch Ineinanderstecken in der in Fig. 1 gezeigten Konfiguration montiert werden können. Durch geeignete Verbindungsmittel, z.B. Verschraubungen könnte der offene Blattanschlussstrang 10 dann wieder geschlossen werden. Auch eine zwei- oder 5 mehrteilige Schlaufenkonstruktion ist denkbar.

Die jeweilige Blattanschlusschlaufe 10 und ihr Schlaufenfußbereich 10a besitzen einen abgeflachten, streifenförmigen Querschnitt. Dadurch ist die Blattanschlusschlaufe 10 in Schlagrichtung der Rotorblätter 8 biegeweich bzw. 10 schlagweich und in Schwenkrichtung biegesteif bzw. schwenksteif ausgebildet. Gleichzeitig ergibt sich im Blattanschlussbereich eine relativ hohe Torsionsweichheit, was für eine lagerlose Blattwinkelverstellung von Vorteil ist.

Wie besonders deutlich aus Fig. 2 hervorgeht, besitzt die Blattanschlusschlaufe 10 einen von der Achse A des Rotormastes 4 radial beabstandeten Verbindungsabschnitt 12, der hier als dünne bzw. flache, schwenksteife Verbindungslasche 12 ausgestaltet und in Längsrichtung L des Rotorblattes 8 an der der Rotorblattspitze abgewandten Seite der Blattanschlusschlaufe 10 angeordnet ist. An dieser Verbindungslasche 12 ist die Blattanschlusschlaufe 10 über einen Bolzen 14, der sich durch eine Bohrung oder Öffnung in der Verbindungslasche 12 erstreckt, oder ein anderes geeignetes Verbindungselement drehfest mit dem Rotorkopfstern 6 bzw. dessen Armen 6a verbunden (vgl. Fig. 1). Die Bohrung oder Öffnung kann in radialer Richtung des Rotors in geringfügigem Maße als Langloch ausgeführt sein.

25 Die Länge der Verbindungslasche 12 und damit der radiale Abstand zur Rotorachse A sowie die Dicke der Verbindungslasche 12 beeinflusst hierbei den fiktiven Schlaggelenksabstand und die Schlagsteifigkeit, die Länge und Breite die Schwenksteifigkeit. Die Schwenksteifigkeit wird zusätzlich auch durch den 30 gegenseitigen Abstand der Schlaufenarme 10b, 10c sowie der Breite des Schlaufenfußbereiches 10a beeinflusst.

Wie in Fig. 1 veranschaulicht, sind die Blattanschlusschläufen 10 der Rotorblätter 8 ineinanderhängend ausgebildet bzw. ineinandergeschachtelt oder hängen im montierten Zustand des Rotors ineinander. Diese ineinanderschachtelung kann bei in sich geschlossenen Blattanschlusschläufen 10 entweder bei deren Fertigung 5 oder bei zu öffnenden Schläufen bei deren Montage erfolgen.

Aus den Fig. 1 und 2 geht ein weiteres wichtiges Ausgestaltungsdetail des erfindungsgemäßen Rotors hervor. Wie in diesen Zeichnungen verdeutlicht, erstreckt sich der Rotormast 4 im Bereich des Rotorkopfes 2 anbindungsfrei bzw. 10 berührungslos durch eine ringartige Fliehkrafthülse 16 hindurch. Und die jeweilige Blattanschlusschlaufe 10 ist derart um die Fliehkrafthülse 16 herum gelegt, dass der Innenumfang des um den Rotormast 4 und die Fliehkrafthülse 16 verlaufenden Schlaufenabschnitts großflächig am Außenumfang der Fliehkrafthülse 16 anliegt. 15 Bei dem vierblättrigen Rotor des vorliegenden Ausführungsbeispiels umschlingen die Blattanschlusschläufen 10 die Fliehkrafthülse 16 also jeweils um einen Winkel von 90° versetzt.

Zwischen der Fliehkrafthülse 16 und dem Rotormast 4 besteht, wie gesagt, keine direkte Anbindung, was hier dadurch erreicht ist, dass der Innendurchmesser der 20 Fliehkrafthülse 16 größer als der Außendurchmesser des Rotormastes 4 ist und ein Freiraum zwischen der Fliehkrafthülse 16 und dem Rotormast 4 besteht. Die Fliehkrafthülse 16 ist damit frei gegenüber dem Rotormast 4 beweglich. Man könnte auch sagen, die Fliehkrafthülse 16 ist schwimmend angeordnet. Sie ist z.B. aus einem metallischen Werkstoff hergestellt, sie kann jedoch auch aus einem 25 Faserverbundwerkstoff oder anderen geeigneten Materialen gefertigt sein.

Damit die Fliehkrafthülse 16 nicht axial verrutscht oder herausfällt, kann zwischen der Fliehkrafthülse 16 und dem Rotormast 4 z.B. ein elastisches Zwischenelement (ein Elastomerelement oder dergleichen) angeordnet sein. Dieses ist in der Fig. 1 30 der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt. Das elastische Zwischenelement kann auch Dämpfungsfunktionen übernehmen und ist gleichzeitig der Anschlussweichheit der Rotorblätter 8 zuträglich, ohne hierbei die insbesondere für das Schlagen der

Rotorblätter 8 erforderliche Biegeverformung der Blattanschlusschläufen 10 zu behindern. Für eine axiale Sicherung der Fliehkrafthülse 16 kann diese z.B. auch einen oder mehrere Kragen, Flansche, Vorsprünge oder andere Sicherungselemente aufweisen, welche sich z.B. am Rotorkopfstern 6 und/oder den 5 Blattanschlusschläufen 10 abstützen.

Fig. 3 zeigt eine schematische Seitenansicht des Rotors von Fig. 1 in Blickrichtung der Pfeile III-III in Fig. 1. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit sind in der Fig. 10 3 nur zwei Rotorblätter 8 dargestellt, und der Rotorkopfstern 6 sowie der Rotormast 4 wurden weggelassen. Wie der Zeichnung entnehmbar ist, besitzt eine jeweilige Blattanschlusschlaufe 8 zwei Schlaufenabschnitte (d.h. die Schlaufenarme 10b, 15 10c), die sich bezogen auf die Axialrichtung bzw. Achse A des Rotormastes 4 weitgehend in unterschiedlichen Ebenen relativ zueinander erstrecken und zu einer Schlaufe vereinigt sind. Dies ist für die Ineinanderschachtelung der einzelnen Rotorblattschläufen 10 wichtig und gewährleistet gleichzeitig, dass alle Rotorblätter 8 in einer gemeinsamen Ebene liegen.

Grundsätzlich ist es im Sinne der Erfindung jedoch auch denkbar, dass die 20 Schlaufenabschnitte 6a der Blattanschlusschlaufe 10 selbst in einer gemeinsamen Ebene liegen. Bei einem Rotor mit mehreren Rotorblättern 8 können die Blattanschlusschläufen 10 dann z.B. in Axialrichtung A des Rotormastes 4 übereinander gelegt oder geschichtet sein. Der dadurch entstehende axiale Versatz 25 der Rotorblätter 8 ist hierbei aufgrund der geringen Dicke der Blattanschlusschläufen 10 vernachlässigbar.

Bei der erfindungsgemäßen Rotorkonstruktion trägt die gegenüber dem Rotormast 4 frei bewegliche ringartige Fliehkrafthülse 16 die im laufenden Rotorbetrieb an den 30 drehenden Rotorblättern 8 auftretenden sehr hohen Fliehkräfte ab und verhindert, dass diese direkt auf den Rotormast 4 lasten. Da mehrere Rotorblätter 8 über ihre Blattanschlusschläufen 10 an die Fliehkrafthülse 16 angeschlossen sind und sich die Rotorblätter 8 paarweise gegenüberliegen, wird über die Fliehkrafthülse 16 gewissermaßen ein durchgehender, unterbrechungsfreier Fliehkräftestrang zu dem

jeweils gegenüberliegenden Rotorblatt 8 gebildet, wobei der Kraftfluss um den Rotormast 4 herum verläuft. Dies hat den Vorteil, dass die beträchtlichen Fliehkräfte eines jeweiligen Rotorblattes 8 direkt durch das gegenüberliegende Rotorblatt 8 abgesetzt und kompensiert werden. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass dieses

5 Prinzip auch dann funktioniert, wenn der Rotor über eine Rotorblattzahl, z.B. eine ungerade Rotorblattzahl, verfügt, bei dem die sich die jeweiligen Rotorblätter 8 nicht um 180° versetzt gegenüberliegen, da sich die jeweiligen Fliehkraftanteile entsprechend verteilen.

10 Der große Durchmesser der Fliehkrafthülse 16 in Verbindung mit einem entsprechend angepassten großen Schlaufenradius der Blattanschlusschlaufen 10 gewährleistet eine günstige Krafteinleitung und Belastungsverteilung. Diese Bauteile können daher mit einer geringen Wandstärke gebaut werden, was wiederum der Schlagweichheit und einem geringen Gewicht zugute kommt.

15 Die Verbindungslaschen 12 haben bei dem erfindungsgemäßen gelenklosen Rotor die Aufgabe, die im laufenden Rotorbetrieb auftretenden Schwenkmomente aufzunehmen und das Antriebsdrehmoment auf den Rotor zu übertragen. Da die von den Rotorblättern 8 ausgehenden Fliehkräfte, wie gesagt, von der Fliehkrafthülse 16 abgetragen werden, sind die Verbindungslaschen 12 im normalen Rotorbetrieb nicht durch diese Fliehkräfte beaufschlagt. Die an den Verbindungslaschen 12 auftretenden Belastungen sind deshalb nur relativ gering, und die Verbindungslaschen 12 können folglich sehr dünn, leicht und in Schlagrichtung sehr biegeweich ausgeführt werden. Darüber hinaus bieten die

20 25 Verbindungslasche 12 und der Bolzen 14, mit dem die Lasche 12 am Rotorkopfstern 6 befestigt ist, im Falle des Versagens oder übermäßigen Deformierens der Fliehkrafthülse 16 eine vorteilhafte Redundanz, da sie dann die Fliehkräfte der Rotorblätter 8 noch im Notbetrieb aufnehmen und auf den Rotorkopfstern 6 übertragen können.

30 Insgesamt sind bei dem erfindungsgemäßen Rotor also diejenigen Bereiche, welche die Rotorblatt-Fliehkräfte abtragen (d.h. die reinen Blattanschlusschlaufen 10) und

diejenigen Teile, welche ein Antriebsdrehmoment vom Rotormast auf den Rotorkopf übertragen (d.h. die Verbindungslaschen 12), sowohl funktional als auch belastungsmäßig voneinander getrennt in einem gemeinsamen Bauteil ausgebildet.

5 Der ganze Rotorkopf 2 kann somit - nur beeinflusst durch die Steifigkeit bzw. Biegeweichheit der Verbindungslaschen 12 und der Blattanschlusschläufen 10 - in Schlagrichtung, verschiedene Neigungen gegenüber dem Rotormast 4 einnehmen. Dies erlaubt es zum Beispiel, den erfindungsgemäßen Rotor ohne diskrete Elemente nur durch die Elastizität der beteiligten Bauelemente als einen sogenannten Gimbalrotor auszustalten.

10 Fig. 4 zeigt eine schematische, stark vereinfachte perspektivische Darstellung eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer zweiten Ausführungsform. Diese Version entspricht weitgehend der von Fig. 1 bis 3. Davon abweichend besitzen die Blattanschlusschläufen 10 jedoch keine Verbindungslasche und der Rotorkopf stern 6 mit seinen Armen 6a ist im Vergleich zu Fig. 1 um ca. 45° versetzt angeordnet. 15 Die Blattanschlusschläufen 10 sind an einem Überlappungsbereich ihrer jeweiligen Schlaufenstränge jeweils über einen Bolzen 14 oder ein anderes geeignetes Verbindungsmittel sowohl drehfest mit dem Rotorkopf stern 6 als auch untereinander verbunden. Pro Schlaufe 10 ergeben sich damit jeweils zwei Verbindungsstellen.

20 Der erfindungsgemäße Rotor wird bei einem Drehflügelflugzeug, insbesondere bei einem Hubschrauber oder einem Kipptorhubschrauber eingesetzt. Ein solches Drehflügelflugzeug kann je nach Ausgestaltungsform einen oder mehrere erfindungsgemäße Rotoren aufweisen.

25 Die Erfindung ist nicht auf die obigen Ausführungsbeispiele, die lediglich der allgemeinen Erläuterung des Kerngedankens der Erfindung dienen, beschränkt. Im Rahmen des Schutzumfangs kann der erfindungsgemäße Rotor vielmehr auch andere als die oben konkret beschriebenen Ausgestaltungsformen annehmen. Der 30 Rotor kann hierbei insbesondere Merkmale aufweisen, die eine Kombination aus den Merkmalen des Hauptanspruchs und allen oder nur einigen Einzelmerkmalen der zugehörigen Unteransprüche darstellen, wie durch die jeweiligen Rückbezüge

angedeutet ist. Der erfindungsgemäße Rotor kann insbesondere für eine andere Anzahl von Rotorblätter als in den obigen Beispielen ausgebildet sein. Er kann z.B. auch ein, zwei, drei, fünf oder mehr Rotorblätter aufweisen. Im Falle eines einblättrigen Rotors kann beispielsweise ein Rotorblatt-Gegengewicht, welches 5 ebenfalls eine Anschlusschlaufe aufweist und gegenüber dem Rotorblatt um 180° versetzt angeordnet ist, die Fliehkraftkompensation übernehmen. Des Weiteren ist es möglich, dass die Blattanschlusschlaufe mehrere nebeneinander und/oder 10 übereinander verlaufende Schlaufenstränge oder Schlaufenschichten besitzt, welche sowohl untereinander verbunden als auch lose übereinanderliegend angeordnet sein können. Die Blattanschlusschlaufe kann also in mehreren 15 Richtungen und Ebenen nochmals aufgeteilt sein.

Anstelle einer aus einem geschlungenen Schlaufenstrang gebildeten Blattanschlusschlaufe kann auch eine Variante vorgesehen sein, bei der die 15 Schlaufe in Form eines mit einer Bohrung versehenen Lochleibungslaminats ausgebildet ist, wobei sich die Rotorachse A bzw. der Rotormast durch diese Bohrung erstreckt. Ein solches Lochleibungslaminat ist insbesondere aus einem plattenförmigen Werkstück herstellbar.

20 Eine Blattanschlusschlaufe kann zudem nicht nur eine, sondern auch mehrere Verbindungslaschen aufweisen, die nicht oder nicht nur in Längsrichtung des Rotorblattes an der einer Rotorblattspitze abgewandten Seite der Blattanschlusschlaufe angeordnet sein müssen, sondern auch an anderen Stellen 25 der Blattanschlusschlaufe vorgesehen sein können.

Bezugszeichen in den Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen dienen lediglich dem besseren Verständnis der Erfindung und sollen den Schutzmfang 30 nicht einschränken.

Bezugszeichenliste

Es bezeichnen:

5

- 2 Rotorkopf
- 4 Rotormast
- 6 Rotorkopfstern / Drehmomentenübertragungselement
- 6a Arme von 6

10

- 8 Rotorblätter
- 10 Blattanschlusschlaufe
- 10a Schlaufenfußbereich
- 10b Schlaufenarm
- 10c Schlaufenarm

15

- 12 Verbindungslasche / Verbindungsabschnitt
- 14 Bolzen
- 16 Ringartige Fliehkrafthülse

20

- A Rotorachse
- L Rotorblatt-Längsachse

Patentansprüche

1. Gelenkloser Rotor, insbesondere für ein Drehflügelflugzeug, umfassend:
5 einen Rotorkopf (2), einen Rotormast (4) mit einer Rotorachse (A), ein drehfest mit dem Rotormast verbundenes Drehmomentenübertragungselement (6), mindestens ein Rotorblatt (8) und einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss mit einer fliehkraftabtragenden Blattanschlusssschlaufe (10), welche die Rotorachse (A) bzw. den Rotormast (4) umschlingt und mit dem Drehmomentenübertragungselement (6) drehfest verbunden (12, 14) ist.
2. Rotor nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
15 sich die Blattanschlusssschlaufe (10) in Längsrichtung (L) des Rotorblattes (8) erstreckt.
3. Rotor nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
20 die Blattanschlusssschlaufe (10) in sich geschlossen ist.
4. Rotor nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
25 die Blattanschlusssschlaufe (10) offen ausgebildet ist und über mindestens ein Schlaufenschließelement zum Verschließen der offenen Blattanschlusssschlaufe (10) verfügt.
5. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
30 die Blattanschlusssschlaufe (10) einen abgeflachten, streifenförmigen Schlaufenstrang besitzt.

6. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Blattanschlusschläufe (10) mindestens zwei Schlaufenabschnitte (10b, 5 10c) besitzt, die sich weitgehend in unterschiedlichen Ebenen relativ zueinander erstrecken und zu einer Schlaufe vereinigt sind.
7. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
Blattanschlusschläufe (10) mehrere nebeneinander und/oder übereinander verlaufende Schlaufenstränge besitzt. 10
8. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Blattanschlusschläufe (10) integraler Bestandteil des Rotorblattes (8) ist. 15
9. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche, mit mehreren Rotorblätter (8),
dadurch gekennzeichnet, dass
die Blattanschlusschläufen (10) der mehreren Rotorblätter (8) in Axialrichtung (A) des Rotormastes (4) übereinander angeordnet sind. 20
10. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche, mit mehreren Rotorblätter (8),
dadurch gekennzeichnet, dass
die Blattanschlusschläufen (10) der mehreren Rotorblätter (8) 25 ineinanderhängend ausgebildet sind.

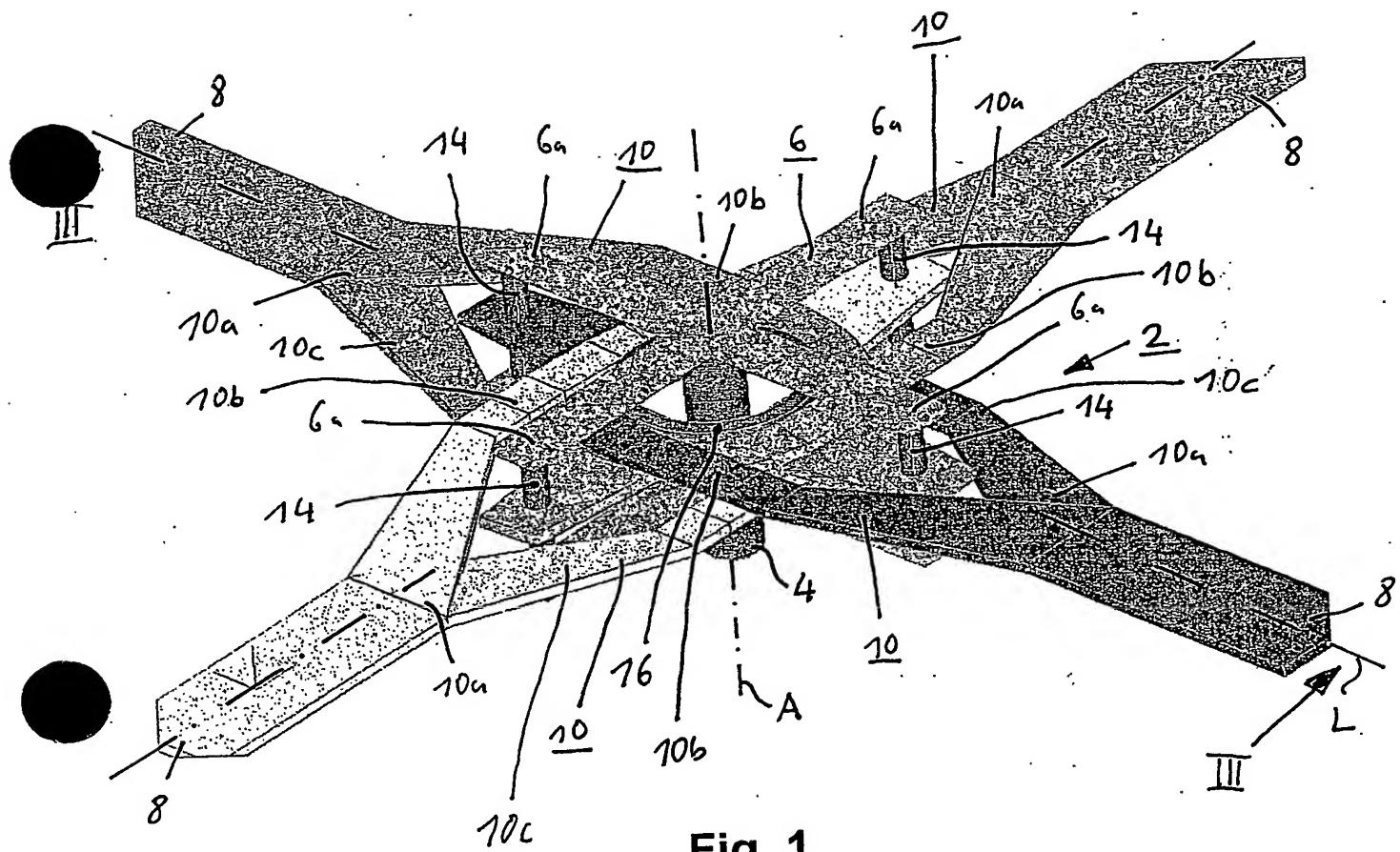
11. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche, mit mehreren Rotorblätter (8),
dadurch gekennzeichnet, dass
5 die Blattanschlusschläufe (10) der mehreren Rotorblätter (8) an mindestens einer Stelle miteinander verbunden (14) sind.
12. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
10 die Blattanschlusschläufe (10) in Form eines mit einer Bohrung versehenen Lochleibungslaminats ausgebildet ist und sich die Rotorachse (A) durch diese Bohrung erstreckt.
13. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
15 die Blattanschlusschläufe (10) mindestens einen von der Achse (A) des Rotormastes (4) radial beabstandeten Verbindungsabschnitt (12) besitzt, an dem die Blattanschlusschläufe (10) mit dem Drehmomenten-übertragungselement (6) verbunden ist.
14. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
20 der Verbindungsabschnitt als mindestens eine Verbindungslasche (12) ausgestaltet ist.
15. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
25 die mindestens eine Verbindungslasche (12) in Längsrichtung (L) des Rotorblattes (8) an der einer Rotorblattspitze abgewandten Seite der Blattanschlusschläufe (10) angeordnet ist.

16. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
sich der Rotormast (4) im Bereich des Rotorkopfes (2) anbindungsfrei durch
5 eine ringartige Fliehkrafthülse (16) erstreckt, und die Blattanschlusschlaufe
(10) um die Fliehkrafthülse (16) herum gelegt ist.
17. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
zwischen der ringartigen Fliehkrafthülse (16) und dem Rotormast (4) ein
10 elastisches Zwischenelement angeordnet ist.
18. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
dieser zusätzlich als lagerloser Rotor ausgebildet ist.
15
19. Drehflügelflugzeug, insbesondere ein Hubschrauber, insbesondere ein
Kipptorhubschrauber, umfassend mindestens einen gelenklosen Rotor
nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 18.
20

Zusammenfassung

Gelenkloser Rotor, insbesondere für ein Drehflügelflugzeug, umfassend: einen
5 Rotorkopf (2), einen Rotormast (4) mit einer Rotorachse (A), ein drehfest mit dem
Rotormast (4) verbundenes Drehmomentenübertragungselement (6), mindestens
ein Rotorblatt (2) und einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss mit einer
fliehkraftabtragenden Blattanschlusssschlaufe (10), welche die Rotorachse (A) bzw.
den Rotormast (4) umschlingt und mit dem Drehmomentenübertragungselement (6)
10 drehfest verbunden (12, 14) ist.

(Fig. 1)



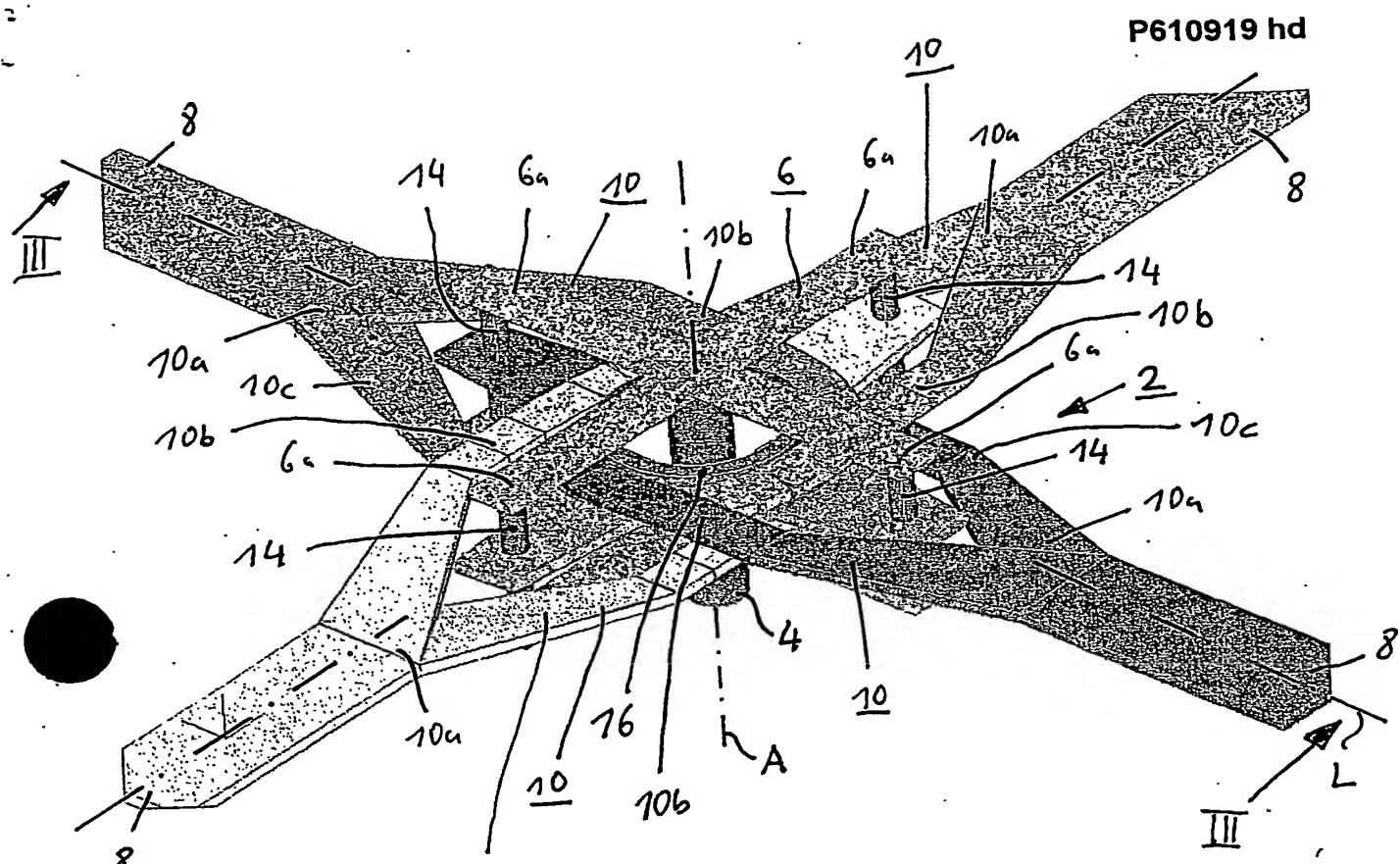
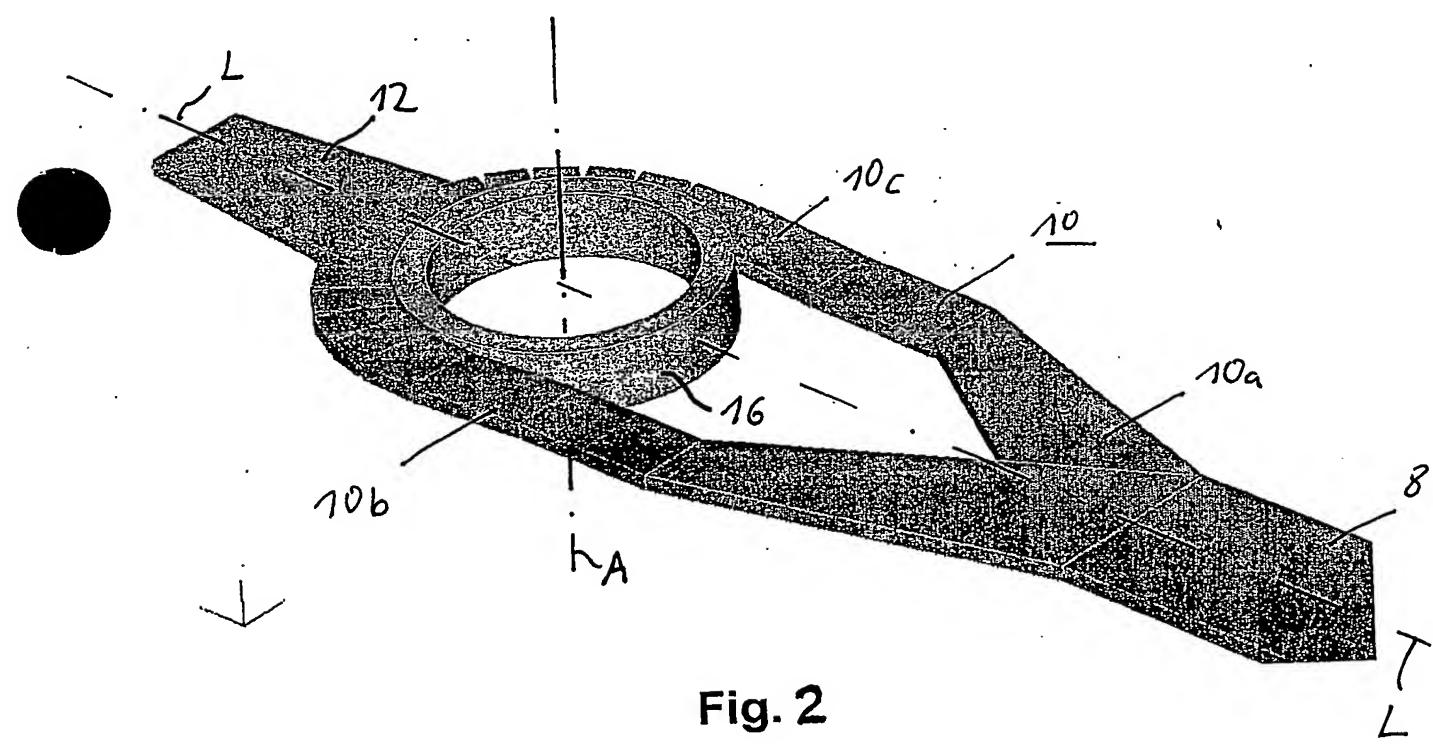


Fig. 1



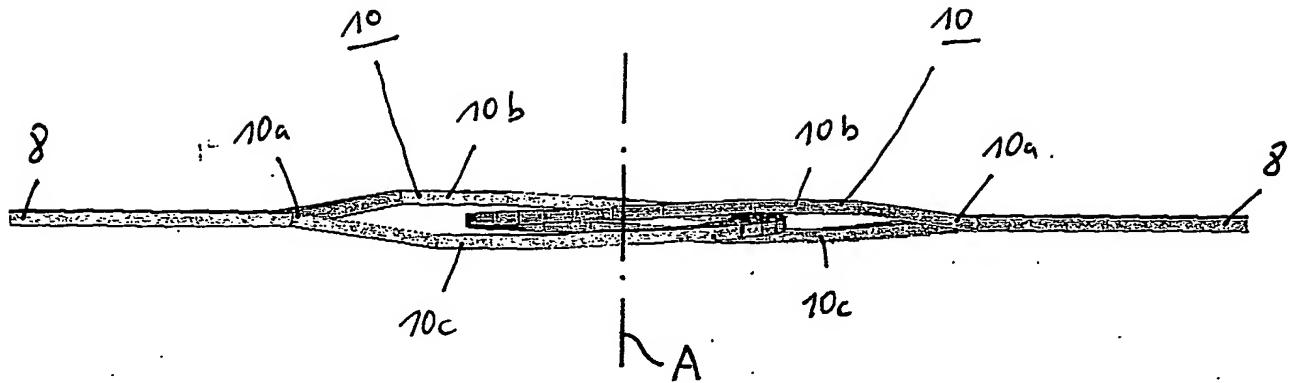


Fig. 3

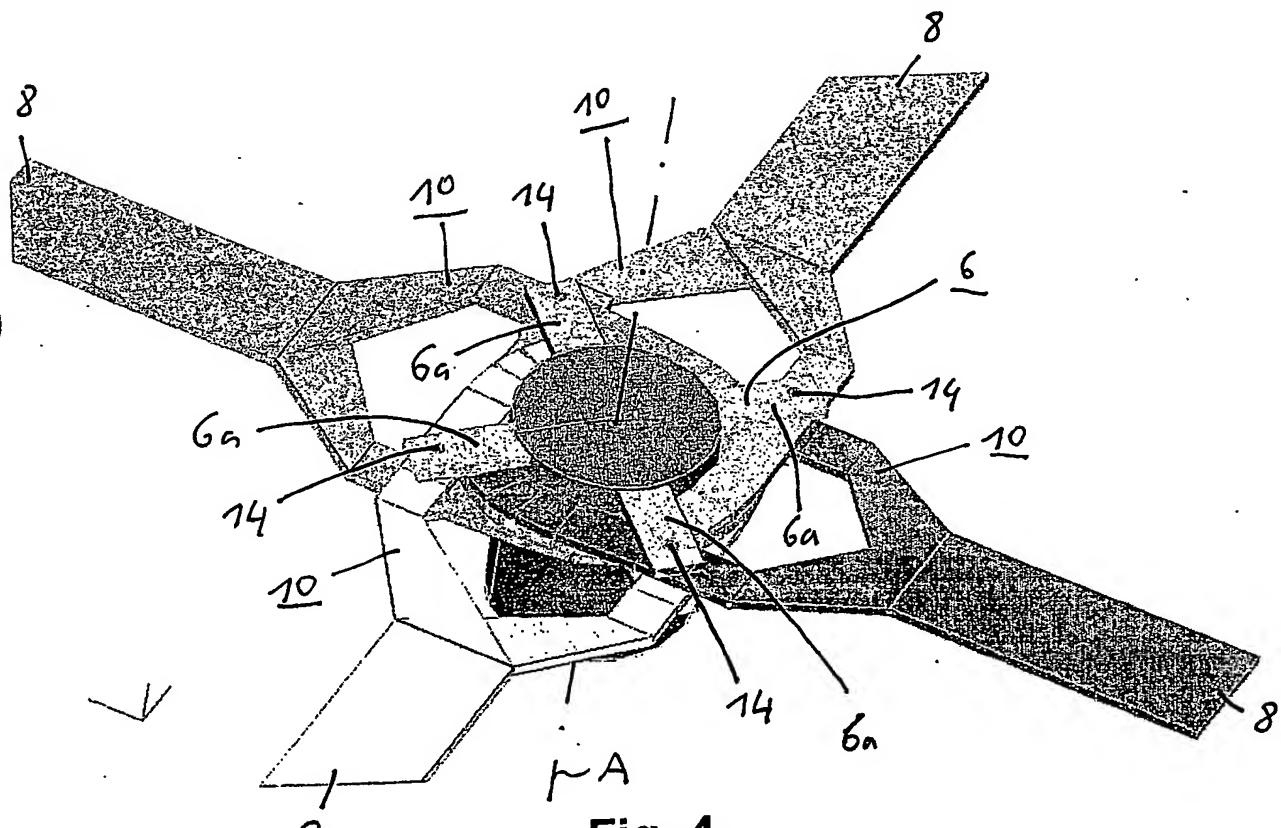


Fig. 4